



中国科学院·电工研究所
IEE CAS

太阳能热发电检测技术 及行业发展

宫博

中国科学院电工研究所

2024年9月11日

CONTENTS



- 1. 太阳能热发电检测的重要意义**
- 2. 行业现状**
- 3. 检测技术及行业发展**
- 4. 经验交流**



行业基础和产能

国家光热联盟不完全统计：**约1000家**

我国光热发电工程相关配套企业约**600家**；

集热系统相关产品和设备供应商约**245家**；

储热系统相关产品和设备供应商约**135家**；

核心装备：定日镜研发不完全统计：**10家**

浙江可胜、首航高科、首航光热、恒基能脉、
电建山东三公司、电建西勘院、东方锅炉、成
都博昱、江苏鑫晨、龙岩智康

关键部件：

玻璃反射镜（用量：每10万千瓦 80万平方米）

槽式吸热管（用量：每10万千瓦 200公里）

**2024年8月，22个光热/熔盐储能项目，共计32
个重要标的完成招标**

CSPPLAZA 2024年9月3日发布



太阳能热发电检测的重要意义

- (1) 关键部件及核心装备的**性能指标**，极大影响电站性能；
- (2) 关键部件及核心装备的**长期可靠性、耐候性能**，极大影响电站寿命；
- (3) 系统**光学效率、光热效率**，极大影响电站发电效率；
- (4) 检测的目的是解决问题，**研发新技术**，进而实现电站性能的提升；



(1) 关键部件及核心装备的**性能指标**，极大影响电站性能；



吸热管热损试验平台 (CSP-IEECAS)

槽式吸热管 (每10万千瓦 200公里)，

导热油出口温度**395°C**，

吸热管热损，极大影响电站热效率。

吸热管热损	300°C测试 热损系数值	350°C测试 热损系数值	400°C测试 热损系数值
行标 T/CRES 0001-2018	110W/m	160W/m	235W/m

(2) 关键部件及核心装备的**长期可靠性、耐候性能**，极大影响电站寿命；



玻璃反射镜的风沙磨损实验



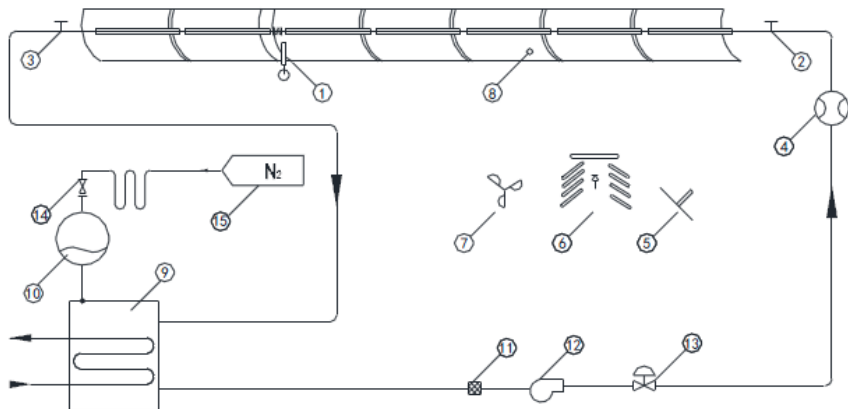
风洞中模拟强沙尘暴天气



玻璃风化

玻璃反射镜 (每10万千瓦 80万平方米)，
沙尘暴频次，新疆不完全统计，13-35天/年，
反射镜是否能保证30年寿命，沙尘暴影响。

(3) 系统**光学效率、光热效率**，极大影响电站发电效率；



- | | |
|-----------------|----------|
| 1—抛物面槽式太阳能集热器 | 9—换热器 |
| 2—温度传感器（传热流体进口） | 10—膨胀罐 |
| 3—温度传感器（传热流体出口） | 11—过滤器 |
| 4—流量计 | 12—泵 |
| 5—直接日射表及太阳跟踪器 | 13—流量控制阀 |
| 6—环境空气温度传感器 | 14—氮气呼吸阀 |
| 7—风速仪 | 15—氮气瓶 |
| 8—镜面反射率测定仪 | |

图4 抛物面槽式太阳能集热器热性能动态测试系统示意图

槽式集热器，

开口：2m-8.6m，

介质：不同温度区间导热油、熔融盐，

热效率：55%-75%。

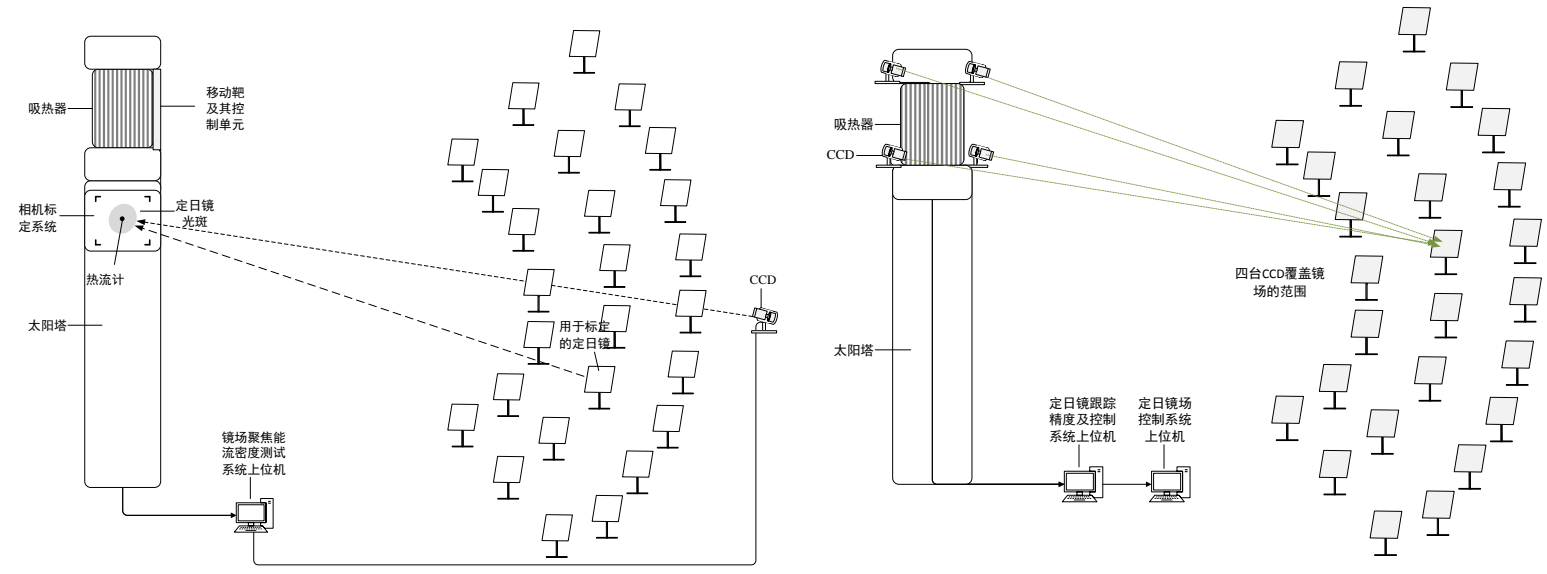


(4) 检测的目的是解决问题，**研发新技术**，进而实现电站性能的提升；

传统方法：光斑纠偏；

检测新方法：机器视觉方法纠偏；

大幅提高镜场的纠偏效率。



定日镜跟踪及纠偏技术





定日镜跟踪及纠偏技术

传统方法：光斑纠偏；

检测新方法：机器视觉方法纠偏；

检测新方法：利用人工光源纠偏；

预期：20天完成30万定日镜纠偏。

CONTENTS



1. 太阳能热发电检测的重要意义
2. 行业现状
3. 检测技术及行业发展
4. 经验交流



检测行业现状（方法、机构）

（1）检测方法，存在问题—**方法的可行性**；

（2）检测机构，存在问题—**第三方资质及质量体系**；



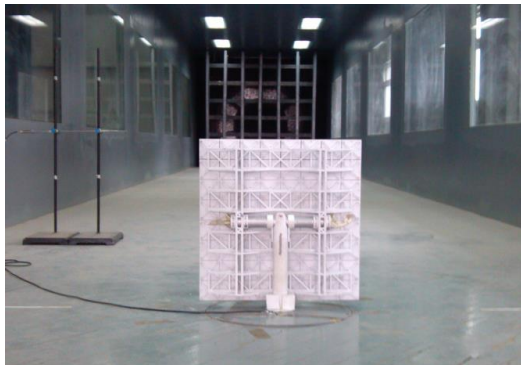
(1) 检测方法，存在问题—方法的可行性；

(定日镜抗风检测：以计算为依据)

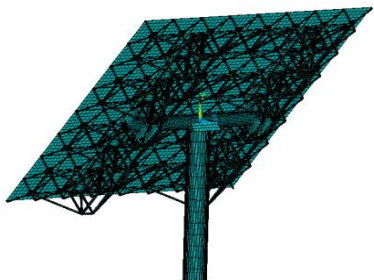
存在问题：

(1) 风洞试验模型的影响；

(2) 有限元模型的正确性；



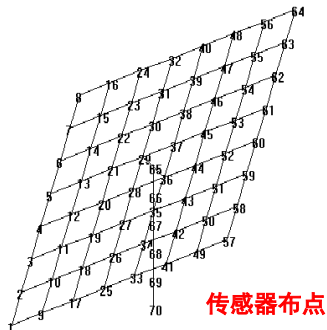
定日镜风洞试验



定日镜有限元模型抗风计算



定日镜自振频率和模态振型测试



传感器布点



加速度传感器



(定日镜抗风检测：以间接测试为依据)



跟踪准确度测试

存在问题：

跟踪准确度 (4 - 11m/s 风速)

(1) 无法定量测试及评估；

(2) 现场条件无法满足；



定日镜俯仰 0° 加载

抗风状态的抗风性能检测：

俯仰0°、11级风、转轴力矩（风洞）

工作状态的抗风性能检测：

俯仰30°、6级风、转轴力矩（风洞）

检测机构（具备测试能力）

美国可再生能源实验室

美国桑迪亚实验室

德国弗劳恩霍夫研究所

德国宇航中心

CSP-service

中科院电工所太阳能热发电设备检测中心

中国特种设备检测研究院

中科院上海应用物理所

北京工业大学

西安热工院

苏州热工院

中国质量认证中心

中建材国检集团

太阳岛EPC

设计单位

材料厂家

部件厂家

装置厂家

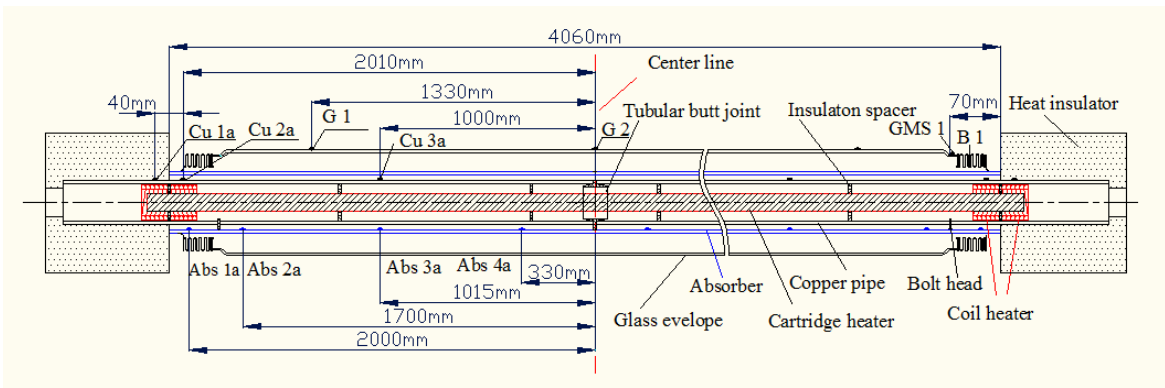
第三方机构检测能力，企业配套检测能力

(2) 检测机构，存在问题—**第三方资质及质量体系**；

- 1、检测资质：CNAS、ILAC（中国认可委、认可组织）；CMA（认证认可监督委）；
- 2、量值溯源：检测仪器的每年的**送检校准**；
- 3、质量管理：**实验室间的比对测试、不确定度分析**、内部审核和管理评审（人、机、料、法、环）；



举例：槽式吸热管热损系数测试设备



量值溯源：

温控设备6个加热器，

测温设备12个热电偶，

标准规定的室内温度、湿度、室内风速，

长度测量设备：游标卡尺和卷尺等，

不确定度分析：

主电加热功率测量仪器引入的标准不确定度；

辅助电加热功率测量仪器引入的标准不确定度；

温度测量热电偶引入的标准不确定度；

长度测量引入的标准不确定度；

考虑实验过程中各因素重复效应引入的不确定度；



Measurement information				
Receiver number	L0008	Measurement Date	23-28/09/2017	
Receiver type	PTR-70	Operator	Greg Glatzinger	
Client	IEECAS	Test method	NREL Technical Report NREL/TP-550-45633	
Heat loss measurements for receiver L0008. Heat loss is listed for receiver (W) and per unit receiver length (W/m).				
Absorber (°C)	Glass (°C)	Ambient (°C)	Heat loss (W)	Heat loss (W/m)
250	39	22	250	62
300	48	22	414	103
350	58	22	644	161
400	71	23	996	249
450	85	23	1425	356

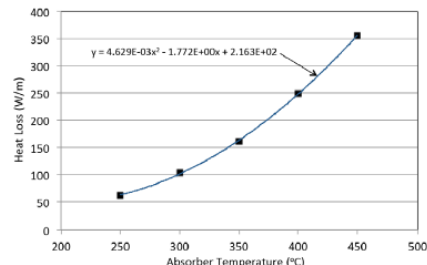


Figure 3. Receiver heat loss (W/m) versus absorber temperature (°C) for L0008.

Figures 3 graph heat loss per unit receiver length (W/m) as a function of absorber temperature (°C) for the three receivers. Ambient air temperatures were 22°C – 24°C for all measurements

实验室间的比对测试：

检测员	250°C测试 热损系数值	300°C测试 热损系数值	350°C测试 热损系数值	400°C测试 热损系数值
中国科学院电工研究所 太阳能热发电设备检测中心	65W	107W	168 W	248W
美国可再生能源实验室	62W	103 W	161 W	249 W
均值	63.5W	105W	164.5 W	248.5W
标准偏差	2.1	2.8	4.9	0.71



CONTENTS

1. 太阳能热发电检测的重要意义
2. 行业现状
3. 检测技术及行业发展
4. 经验交流



检测技术及行业发展

- (1) 梳理检测需求及检测技术 — 材料、部件、装置、运维设备、系统；
- (2) 检测标准的制定、完善和修订 — 成体系、针对性、一致性、专家参与；



(1) 梳理检测需求及检测技术

材料、部件、装置、运维设备、系统的检测能力

材料方面：

- 1、熔融盐
- 2、导热油
- 3、膜层材料
- 4、涂层材料

部件方面：

- 1、反射镜
- 2、吸热管
- 3、传动装置
- 4、控制器
- 5、流量计
- 6、温度传感器

装置方面：

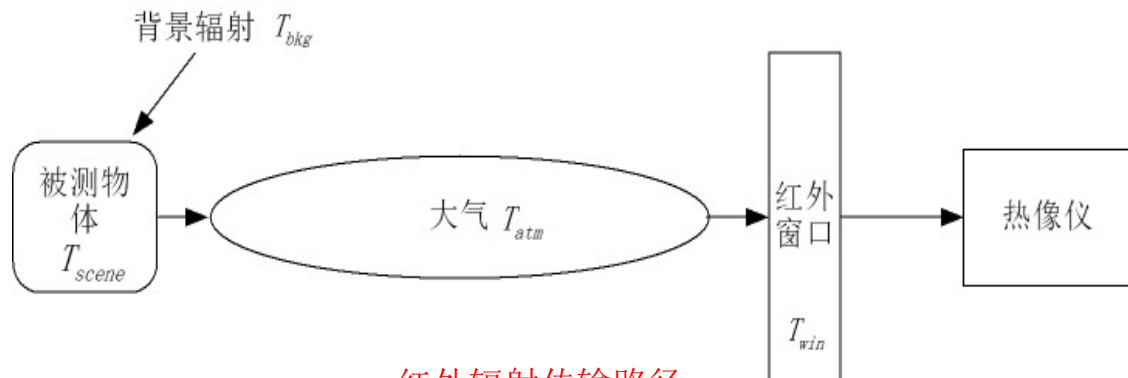
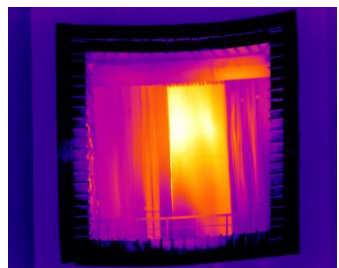
- 1、槽式集热器
- 2、定日镜
- 3、吸热器
- 4、储罐
- 5、换热器
- 6、蒸汽发生器
- 7、熔盐泵
- 8、熔盐阀
- 9、电加热器

运维设备方面：

- 1、清洗车
- 2、红外测温仪器
- 3、气象设备

系统方面：

- 1、镜场聚光能流密度
- 2、镜场控制、校准、响应
- 3、镜场光学效率
- 4、镜场光热效率
- 5、汽轮机出力
- 6、设计工况光电转换效率



背景辐射温度 T_{bkg} 、被测物体发射比 $\varepsilon(T_{scene}, \theta)$ 、大气温度 T_{atm} 、大气透过比 τ_{atm} 、窗口透过比 τ_{win} 、窗口反射比 r_{win} ，窗口温度 T_{win} 和窗口反射温度为 T_{ref} ，结合公式，即可求得被测物体的温度 T_{scene} 。

吸热器的涂层材料为Pyromark-2500

(1) 检测标准的制定、完善和修订 — 成体系

(以吸热管检测为例)

膜层的吸收比和发射比，

玻璃外管的透射比；

吸热管的光学效率；

吸热管的热损系数；

吸热管的膜层高温加速老化与热循环；

吸热管的真空寿命；

吸热管的机械疲劳测试；



热损测试



光学效率测试



加速老化与热循环



机械疲劳测试

体系：

覆盖所有性能和寿命的检测项目；

同一支吸热管的检测；

抽选三支吸热管；

(2) 检测标准的制定、完善和修订 — 针对性



导热油



熔融盐



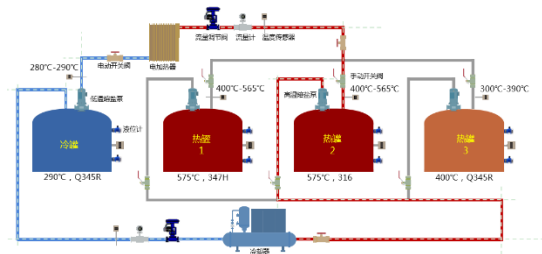
玻璃反射镜



吸热管



定日镜



熔盐罐

针对性：

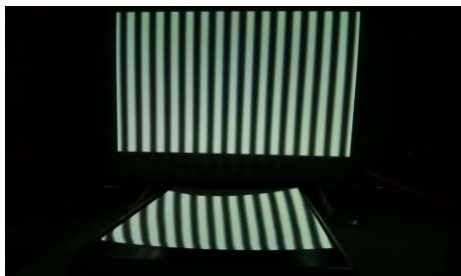
部件 产能巨大（反射镜、吸热管）：**按批次抽检**；

装置 易故障（定日镜、罐体）：**出厂检、按周期检测**；

材料 超温后性能改变（导热油、熔融盐）：**更严苛的检测周期**；

(3) 检测标准的制定、完善和修订 — 一致性

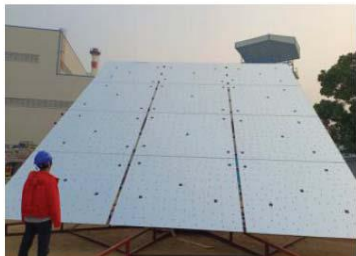
(以面形检测为例)



反射镜 (条纹法)



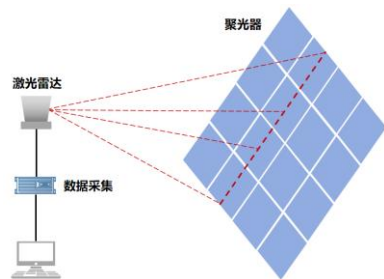
定日镜 (条纹法)



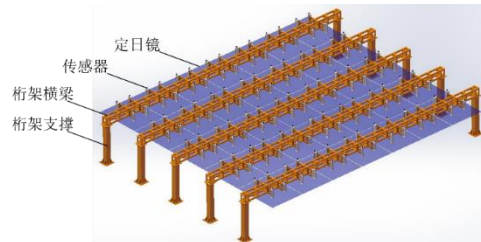
定日镜 (贴片 成像)



槽式集热器 (成像)



定日镜 (激光雷达)



定日镜 (接触式激光探头)

GB/T 30984.3—2016, 太阳能用玻璃 第3部分: 玻璃反射镜

GB/T 34334—2017, 光热玻璃反射镜面形测试方法

T/CRES 0003-2018, 团体标准, 太阳能聚光器面形性能测量方法

GB/T 44140—2024, 塔式太阳能光热发电站定日镜技术要求

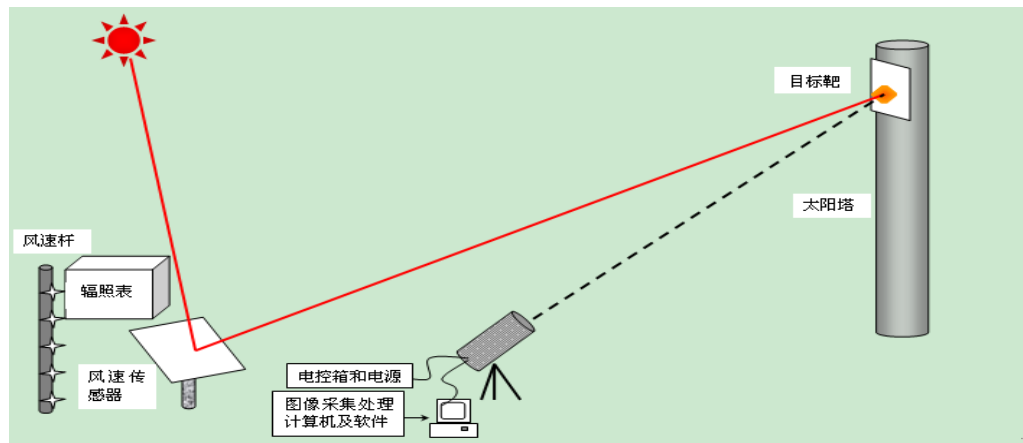
一致性:

方法是手段, 测试精度是目的, 方法具备可执行性;

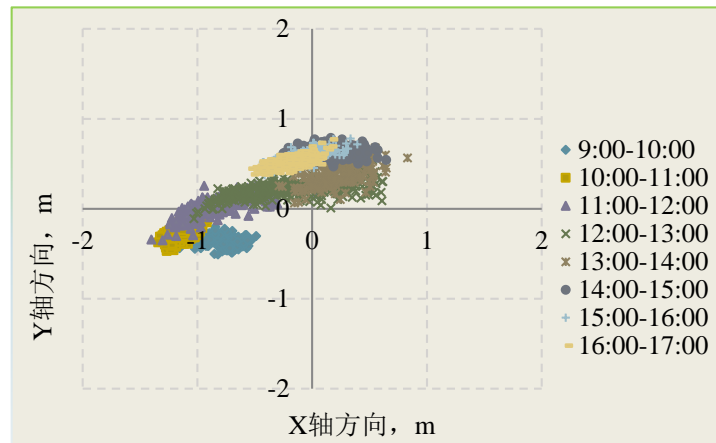
方法的适用 (条纹法 适合室内暗室、是否适合现场室外环境)

(4) 检测标准的制定、完善和修订 — 专家参与

(以定日镜跟踪检测为例)



定日镜跟踪准确度检测示意图



9:00-17:00 的检测数据

T/CRES 0002-2018，团体标准，太阳
定日镜跟踪准确度测量方法
GB/T 44140—2024，塔式太阳能光热
发电站定日镜技术要求

专家参与：

国标欠缺：**概率统计**-采样周期和采样量问题，**高风速下跟踪精度反而高；**
请本行业中研发和开展此项检测的专家，参与标准制定；

CONTENTS

1. 太阳能热发电检测的重要意义
2. 行业现状
3. 检测技术及行业发展
4. 经验交流



中国科学院电工研究所太阳能热发电设备检测中心发展历程

- 2015年11月6日，为更好地集中人力物力，责权明确地为示范项目和产业提供高水平的服务，成立了“中国科学院电工研究所太阳能热发电设备检测中心”。
- 2016年2月26日，被“国家太阳能光热产业技术创新战略联盟”授权为首个光热联盟公共技术服务平台，为联盟90多家成员单位提供技术服务。
- 2020年1月20日，获得CNAS检测实验室认可，在热发电领域唯一获得认可。

检测实验室、室外实证平台、项目现场测试装备



槽式集热器截取因子测试仪



槽式吸热管热性能测试平台



槽式集热器热性能稳态测试平台



大气边界层风洞



点聚焦太阳炉



太阳能聚光器面形性能测试平台



聚焦型太阳模拟器



跨季节储热实验平台



塔式熔融盐系统实验平台



线聚焦太阳炉



定日镜跟踪准确度测试仪



吸热体表面红外测试仪

合作共赢，守护蓝天

宫博

18510974500

中国科学院电工研究所